

## 明 細 書

## 拡管加工性に優れたフェライト系ステンレス鋼溶接管

## 技術分野

本発明は、自動車排気系部品や自動車燃料系部品の燃料給油管等の拡管加工が厳しく、かつ高温酸化や融雪剤等の付着による腐食や高温塩害腐食が厳しい用途に使用されるフェライト系ステンレス鋼溶接管に関するものであり、素管径の2倍以上の偏芯加工を含む拡管加工での母材や溶接部あるいは溶接部近傍の母材に発生する拡管加工割れを防止するものである。

## 背景技術

フェライト系ステンレス鋼は、熱膨張係数が小さいことから加熱・冷却が繰り返される自動車排気系部品に使用されてきた。また、最近では寒冷地域での融雪剤付着時の応力腐食割れ感受性が低いことから、自動車燃料系部品の燃料給油管への適用も始められている。これらの部品の多くは、薄肉の溶接管であり、曲げ加工やバルジ加工や拡管加工等が施されている。特に、燃料給油管では、特開2002-242779号公報のように防錆性能を図るためパイプを一体で、且つ偏芯で拡管することが示され、素管径の2倍以上の加工が施される場合があり、使用されるパイプには優れた拡管性が要求される。

これらの要求に対して、加工性の優れるフェライト系ステンレス鋼管として、特開平6-41689号公報のように、素材の圧延方向や圧延直角方向のランクフォード値（ $r$  値）を規定したり、また、特開平5-277769号公報のように、レーザ溶接前の予熱や内面ビード余盛高さや、その後、溶接ビード部を圧下し余盛高さを消去する製

造方法や、特開平 7 - 265941号公報、特開平 7 - 266072号公報、特開平 7 - 286239号公報、特開平 8 - 257777号公報および特開 2000 - 326079号公報のように、ロールレス造管法とレーザ溶接の組み合わせで、レーザ溶接機の出力と造管速度、ロールレス造管法での曲げロール半径と板厚の関係や矯正条件を規定し、母材部と溶接部の硬度差を調整したり、レーザ溶接部の C, N, O 量や介在物を調整し、溶接部のバルジ加工性、拡管性や曲げ加工性を高めることが提案されているが、素材材質、溶接ビード形状や溶接ビード硬度の調整のみでは素管の 2 倍以上、かつ偏芯拡管を伴う非常に厳しい拡管加工に耐えることが困難である。

一方、素材に関しても、使用環境が厳しくなったことや、寿命等耐久性の向上要求等から、耐食性、耐高温塩害性、耐酸化性、高温強度や熱疲労の向上が求められ、Cr, Mo, Nb等の合金元素含有量が高くなる傾向に有るが、これは加工性に関しては好ましくない方向であるので、使用性能と加工性を両立した溶接管素材が求められている。

#### 発明の開示

本発明はこうした現状を鑑みて、素管の 2 倍以上の偏芯加工を含む拡管加工での母材に発生する拡管加工割れや溶接部あるいは溶接部近傍母材割れを防止する、拡管加工性に優れたフェライト系ステンレス鋼溶接管を提供することを目的とする。

本発明者らは上記目的を達成するため、拡管加工における溶接管の変形挙動、拡管性と母材特性の関係を検討し、多段工程による拡管性を向上させ、偏芯拡管工程を含み素管の 2 倍以上の拡管性を得るためには、素材板の特性と造管後の母材部の特性と共に母材と溶接部の硬度や溶接ビード厚による強度バランスをとることが非常に

重要であるとの知見を得たものであり、その要旨とするところは以下の通りである。

(1) フェライト系ステンレス鋼溶接管に於いて、成形、溶接、矯正後の溶接管母材部の円周方向伸びが15%以上であることを特徴とする拡管加工性に優れるフェライト系ステンレス鋼溶接管。

(2) Ti, Nbの1種または2種を、質量%で各々0.05~0.5%含有するフェライト系ステンレス鋼溶接管において、溶接部のビッカース硬さ $HV_v$ と母材部のビッカース硬さ $HV_M$ との硬度差 $\Delta HV (=HV_v - HV_M)$ が10~40の範囲で、溶接部のビード厚さ $T_v$ と母材部の肉厚 $T_M$ との比 $RT (=T_v / T_M)$ が1.05~1.3であることを特徴とする拡管加工性に優れるフェライト系ステンレス鋼溶接管。

(3) 質量%にて、C : 0.001~0.015%、Si : 0.01~1.0%、Mn : 0.01~1.0%、P : 0.01~0.03%、S : 0.0005~0.010%、N : 0.001~0.020%、Cr : 11~25%、Mo : 0.01~2.0%、TiまたはNbの1種または2種を各々0.05~0.5%、B : 0.0003~0.0030%を含有し、残部がFe及び不可避不純物からなり、溶接管素材板の円周方向となるべき方向の伸びが30%以上で、平均ランクフォード値(r値)が1.5以上である素材板を用いてなることを特徴とする(1)または(2)記載の拡管加工性に優れるフェライト系ステンレス鋼溶接管。

(4) 成形、溶接後に周長で0.5~2.0%の矯正を施すことを特徴とする(1)~(3)のいずれかの項に記載の溶接管の製造方法。

(5) 成形、溶接、矯正後に700~850℃で焼鈍することを特徴とする(4)記載の溶接管の製造方法。

#### 図面の簡単な説明

図1は、偏心拡管加工による加工歪経路。

図 2 は、偏芯拡管部に見られる割れ、括れの形態。

図 3 は、円周方向伸びと偏芯拡管加工での括れ、割れ発生の関係

図 4 は、拡管加工での割れ形態。

図 5 は、拡管加工状況と溶接部のビッカース硬さ  $HV_F$  と母材部のビッカース硬さ  $HV_M$  との硬度差  $\Delta HV (=HV_F - HV_M)$  が 10~40 の範囲で、溶接管のビード厚さ  $T_F$  と母材部の肉厚  $T_M$  との比  $RT (=T_F / T_M)$  の関係。

図 6 は、溶接管と母材部の硬度差  $\Delta HV$  と周長矯正量の関係 (SUS436L/TIG溶接管 (25.4mmφ×0.8mmt))。

図 7 は、溶接管と母材部の硬度差  $\Delta HV$  熱処理温度の関係 (SUS436L/TIG溶接管 (25.4mmφ×0.8mmt))。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下に本発明を詳細に説明する。通常、パンチによる多段工程での偏芯拡管加工では、図 1 に示すように溶接管は、各工程でパンチとの摩擦による管軸方向の応力により、管軸方向には圧縮変形し、管円周方向には引張変形を受けながら拡管加工されている。また、偏芯拡管加工を伴う場合は、偏芯部が張り出され、局部的に軸方向および円周方向に引張変形を受け、特に円周方向の歪が引張歪で大きいことから、円周方向の延伸確保が偏芯拡管成形するためには重要と考えられる。

このような加工において、溶接管母材部の延性が不足していると、図 2 に示すように偏芯拡管部の張り出し部に、軸方向に沿った括れや割れが発生する。このような括れや割れは、重要保安部品の自動車燃料系部品の燃料給油管では許されない欠陥である。偏芯拡管部での割れと溶接管母材の延性との関係を検討した結果、偏芯拡管

部での割れと溶接管円周方向の伸びには関連があり、図3に示すように括れや割れを抑制するためには溶接管円周方向の伸びが15%以上必要であり、円周方向伸びが15%以下10%以上の溶接管では括れが発生し、10%以下の溶接管では割れに至ることが明らかになった。なお、円周方向の伸び15%以上を確保するには、ロール成形やゲージ成形でオープンパイプ状に成形される時、できるだけ低歪で成形する方法や造管後熟処理により造管歪を低減し、延性を確保する等の手段を用いることが必要である。なお、溶接管母材部の円周方向伸びは、円周方向に切断、展開後、JIS13号Bに準拠した引張試験片平行部を切り出し、両端に掴み部を溶接後、引張試験を行い、全伸びを測定した。

溶接管素材板に関しても、全体の歪や局部的な歪に対して母材割れの抑制、割れの進展を抑制するため、円周方向となるべき方向の伸びは30%以上、平均ランクフォード値で1.5以上であるフェライト系ステンレス鋼帯の使用が望ましい。また、それらに使用されるステンレス鋼板素材板はTi, Nbを添加した高純度フェライト系ステンレス鋼を使用することが望ましい。

また、溶接管の溶接部と母材部の強度バランスが適正でない場合、割れにいたる。図4に示すように、母材部に対して溶接部の強度が相対的に低い場合には、溶接部で軸方向（縦方向）に割れが発生する。一方、母材部に対して溶接部の強度が高すぎる場合は、溶接部の管軸方向の変位が、母材部に比し小さく、拡管部管端で溶接部が突き出た形状になり、溶接部と母材部の管軸方向変位量の差により、両者の間にせん断的な変形が大きくなり、溶接部近傍の母材部から斜め方向に割れが発生する。なお、溶接部はアンダーカットや突き合わせ形状不良による局部的に厚みが母材より薄い部位が無い溶接部形状であることが前提であり、溶接部形状が上記のような不

良がある場合、溶接部で軸方向に割れる。

従来、溶接部と母材部の強度バランスを取り、溶接管の加工性を向上させる方法として、特開平 7-265941号公報等のように母材硬さと溶接部硬さの差が10~80になるように製造条件を調整することが提案されているが、本発明者らは多段の拡管加工では、単に溶接部強度（硬度）を調整しただけでは、溶接部と母材部の適正な強度バランスが得られず、溶接部硬度に加え、溶接部ビード厚を適切な範囲にする必要があることを明らかにした。

なお、上記の母材、溶接部硬度および溶接ビード厚を調節するには、成形に於いて、ロール配置やフィンパスロール間隔、スクイーズロール間隔等の成形条件や、成形後のサイジングによる矯正量やその後の熱処理条件が重要である。

以下に本発明に用いる溶接管の具体的成分組成において説明する。

C, N : C, Nは多量に添加すると成形性や耐食性を劣化させる。また、これらを固定させるため必要Ti量が増加するため、上限はCは0.015%、Nは0.020%とした。下限は精錬コストを考え、C, Nいずれも0.001%とした。

Si : Siは脱酸元素として用いられる元素であるが、1.0%を超えると成形性を著しく低下するため上限を1.0%とした。精錬工程コストを考えた場合、0.01%は不可避に混入するレベルであることから、これを下限とした。

Mn : Mnを多量に添加した場合、成形性を低下するため上限を1.0%とした。精錬工程コストを考えた場合、0.01%は不可避に混入するレベルであることから、これを下限とした。

P : Pは固溶強化により、成形性を低下させることから、上限は

0.03%とした。下限は、原料選択等により製鋼コストを増加させることから、下限は0.01%とした。

S : Sは多量に添加すると、介在物等により耐食性を劣化させることから、上限を0.010%とし、下限は製鋼コストを考慮し0.0005%とした。

Cr : Crはステンレス鋼の基本特性である耐食性を確保するために必要な元素である。自動車燃料系部品で必要とされるCrは、下限は塗装をした場合で11%、上限は成形性を低下させたり、製品コストを高めたり、製造性を劣化させるため25%とした。

Mo : Moもステンレス鋼の耐食性を向上させる元素である。上限はCrと同様、成形性やコスト面から2.0%とし、下限は不可避なレベルとして0.01%とした。

TiやNbは0.05質量%以上、好ましくは0.1%以上添加することによりC、Nと結合し、鋼中に固溶するC、Nを低減して、伸びやr値を高め加工性を向上させる効果が得られる。また、CをTiやNbの炭化物として安定化させることにより、溶接部熱影響部でCr炭化物の析出を抑制し、耐粒界腐食性を高めることができる。一方、過剰の添加は、固溶や析出により鋼の強度を高めたり、Ti添加では介在物による疵発生の問題があること、Nb添加では製造工程でのNb系析出物の析出により再結晶や結晶粒成長を抑制し、伸びやr値が得られないため、上限は0.5%とした。

B : Bは二次加工性を向上させる元素であり、拡管加工後の各種加工での二次加工割れを抑制する。その効果を得るためには0.0003%以上必要なことから下限とした。上限は、素材の伸びやr値等成形性を劣化させるため0.0030%とした。

次に、SUS436L/0.8mmt、1.0mmtの鋼帯を用い、ロール成形により25.4mmφのTIG溶接管、電縫溶接管を種々の造管条件、矯正条件

、熱処理条件で製造した溶接管を、多段パンチ、4工程（30φ、38φ、45φ、51φ）で拡管加工し、全工程での割れ有無により、拡管性を評価した結果で説明する。

溶接管の硬度差 $\Delta HV$ を求めるため、溶接部のビッカース硬さは、マイクロビッカース硬さ計で、荷重500gで0.5mmまたは0.2mm間隔で測定し、その平均とした。また、母材部のビッカース硬さは、溶接部を除き全周を45°間隔で、荷重500gで7点測定し、その平均として評価した。

肉厚の比は、溶接部の最も厚い部位を溶接部肉厚とし、母材部は母材部ビッカース硬度を測定した部位7点の平均を母材肉厚として評価した。

溶接部のビッカース硬さ $HV_W$ と母材部のビッカース硬さ $HV_M$ との硬度差 $\Delta HV (=HV_W - HV_M)$ 、溶接部のビード厚さ $T_W$ と母材部の肉厚 $T_M$ との比 $RT (=T_W / T_M)$ と拡管加工性評価結果の関係を見ると、図5の●で示すように硬度差 $\Delta HV$ が10未満または硬度差 $\Delta HV$ が10～30で、肉厚比 $RT$ が1.05未満の場合、拡管加工では溶接部が軸方向（縦方向）に割れる。

次に、図5の▲で示すように硬度差 $\Delta HV$ が10～30または硬度差 $\Delta HV$ が30より大きく、肉厚比 $RT$ が1.3より大きい場合、管軸方向変位量の差により、両者の間にせん断的な歪が大きくなり、溶接部近傍の母材部から斜め方向に割れが発生する。

一方、図5の◇で示すように硬度差 $\Delta HV$ が10～40の範囲で、肉厚比 $RT$ が1.05～1.3の範囲では、微少な割れはあるが、素管の2倍の拡管加工が可能であり、微少な割れまで抑制するには、図5の□で示すように硬度差 $\Delta HV$ が10～30の範囲で、肉厚比 $RT$ が1.1～1.25の範囲であることが望ましい。

次に、成形、溶接後の周長矯正量（（矯正前周長－矯正後周長）



／矯正前周長)×100(%)の限定範囲について述べる。図6に示すように、周長矯正量が0.5%未満では、溶接部の硬度増加が小さく、拡管加工での必要な前記溶接部強度が得られない。一方、周長矯正量が2.0%より大きい場合は、溶接部硬度は十分以上であるが、母材部の硬度増加も大きく、母材部の加工性劣化が大きい。このため、成形、溶接後の周長矯正量は0.5～2.0%が必要である。

最後に、成形、溶接、矯正後の熱処理温度の限定範囲について、図7を用いて述べる。熱処理は成形、溶接、矯正による歪による母材成形性の回復と溶接部と母材部の強度バランスを調整する。ここで、700℃未満では回復による母材の成形性回復が不十分であり、熱処理をする意味が無い。一方、850℃より高い場合には、溶接部の強度(硬度)が低下し、母材部と同程度になり、拡管加工に必要な溶接部、母材強度バランスが得られない。このため、成形、溶接、矯正後の熱処理する場合、熱処理温度は700～850℃の範囲が望ましい。

## 実施例

### 〈実施例1〉

表1に示す成分の鋼板1.0mm厚を用いて、25.4mmφのTIG溶接管、電縫溶接管を、成形条件、造管後矯正量、熱処理温度を表2のように変化させ製造した。製造した溶接管を、多段パンチの5工程偏芯拡管(25.4mmφ溶接管を30φ、38φ、45φ、51φ、偏芯拡管51φ(13mmオフセット))で多段拡管加工し、全工程での割れ有無により、拡管性を評価した。なお、このような厳しい拡管加工では溶接部を起点とする割れも発生するため、溶接ビード強度等を適切に制御し製造した。

〔表 1〕

|         | 鋼種 | 成分 (質量%) |      |      |       |        |      |      |      |      |       |       | 伸び<br>(%)<br>*1 | 平均<br>r 値<br>*2 | 備考     |
|---------|----|----------|------|------|-------|--------|------|------|------|------|-------|-------|-----------------|-----------------|--------|
|         |    | C        | Si   | Mn   | P     | S      | Cr   | Mo   | Ti   | Nb   | N     | B     |                 |                 |        |
| 本 発 明 例 | A  | 0.004    | 0.09 | 0.14 | 0.024 | 0.0018 | 17.3 | 1.15 | 0.23 | -    | 0.011 | 0.007 | 34              | 1.9             |        |
|         | B  | 0.005    | 0.08 | 0.12 | 0.022 | 0.0025 | 17.4 | 0.51 | 0.22 | -    | 0.012 | 0.008 | 35              | 1.7             |        |
|         | C  | 0.008    | 0.47 | 0.35 | 0.018 | 0.0034 | 11.2 | 0.03 | 0.24 | -    | 0.013 | 0.011 | 37              | 1.8             |        |
|         | D  | 0.013    | 0.48 | 0.11 | 0.025 | 0.0024 | 19.2 | 0.05 | -    | 0.42 | 0.013 | 0.005 | 31              | 1.5             |        |
|         | E  | 0.004    | 0.17 | 0.14 | 0.025 | 0.0035 | 19.2 | 1.89 | 0.14 | 0.26 | 0.014 | 0.009 | 32              | 1.8             |        |
|         | F  | 0.006    | 0.10 | 0.12 | 0.023 | 0.0025 | 22.3 | 1.62 | 0.18 | 0.30 | 0.011 | 0.005 | 30              | 1.7             |        |
|         | G  | 0.009    | 0.96 | 0.95 | 0.02  | 0.0021 | 13.9 | 0.47 | 0.15 | 0.30 | 0.009 | 0.007 | 31              | 1.5             |        |
| 比較例     | H  | 0.085    | 0.03 | 0.70 | 0.032 | 0.023  | 16.7 | -    | -    | -    | 0.032 | -     | 28              | 1.1             | SUS430 |

—: 本発明の範囲を外れるもの

\*1 溶接管として成形—溶接した場合の円周方向となるべき方向の伸び (%)

\*2 圧延方向、圧延直角方向、圧延45°方向のr値をr<sub>0</sub>、r<sub>90</sub>、r<sub>45</sub>とした場合

$$\text{平均 } r \text{ 値} = \frac{r_0 + r_{90} + 2 r_{45}}{4}$$

[表 2]

|                  | No | 鋼種 | 成形方法       | 溶接方法 | サイジング率 (%) | 造管後熱処理 | 円周方向伸び (%) | 偏芯<br>拡張性 |
|------------------|----|----|------------|------|------------|--------|------------|-----------|
| 本<br>発<br>明<br>例 | 1  | A  | ロール成形 (低歪) | TIG  | 0.5        | 無し     | 28         | ○         |
|                  | 2  | A  | ロール成形 (低歪) | ERW  | 1.5        | 無し     | 15         | ○         |
|                  | 3  | B  | ロール成形 (低歪) | TIG  | 0.7        | 無し     | 25         | ○         |
|                  | 4  | B  | ロール成形 (低歪) | ERW  | 1.0        | 無し     | 21         | ○         |
|                  | 5  | C  | ロール成形 (低歪) | TIG  | 0.8        | 無し     | 23         | ○         |
|                  | 6  | C  | ロール成形 (低歪) | ERW  | 1.2        | 無し     | 18         | ○         |
|                  | 7  | D  | ロール成形 (低歪) | TIG  | 0.7        | 無し     | 22         | ○         |
|                  | 8  | D  | ロール成形 (低歪) | ERW  | 0.5        | 無し     | 26         | ○         |
|                  | 9  | E  | ロール成形 (低歪) | TIG  | 1.3        | 無し     | 17         | ○         |
|                  | 10 | E  | ロール成形 (低歪) | TIG  | 0.7        | 無し     | 24         | ○         |
|                  | 11 | F  | ロール成形 (低歪) | TIG  | 0.5        | 無し     | 23         | ○         |
|                  | 12 | F  | ロール成形 (低歪) | TIG  | 0.6        | 無し     | 24         | ○         |
|                  | 13 | G  | ロール成形 (低歪) | TIG  | 0.8        | 無し     | 21         | ○         |
|                  | 14 | G  | ロール成形 (低歪) | TIG  | 0.5        | 無し     | 25         | ○         |
|                  | 15 | A  | ロール成形      | TIG  | 1.5        | 800℃   | 23         | ○         |
|                  | 16 | B  | ロール成形      | TIG  | 1.8        | 850℃   | 24         | ○         |
|                  | 17 | C  | ロール成形      | TIG  | 0.9        | 750℃   | 28         | ○         |
|                  | 18 | D  | ロール成形      | TIG  | 1.2        | 800℃   | 22         | ○         |
|                  | 19 | E  | ロール成形      | TIG  | 0.5        | 800℃   | 23         | ○         |
|                  | 20 | F  | ロール成形      | TIG  | 0.7        | 800℃   | 21         | ○         |
|                  | 21 | G  | ロール成形      | TIG  | 0.8        | 800℃   | 23         | ○         |
| 比<br>較<br>例      | 22 | A  | ロール成形      | ERW  | 1.0        | 無し     | 11         | △         |
|                  | 23 | B  | ロール成形      | ERW  | 1.1        | 無し     | 13         | △         |
|                  | 24 | C  | ロール成形      | TIG  | 1.0        | 500℃   | 14         | △         |
|                  | 25 | D  | ロール成形      | TIG  | 0.9        | 600℃   | 9          | ×         |
|                  | 26 | E  | ロール成形      | TIG  | 0.8        | 無し     | 8          | ×         |
|                  | 27 | F  | ロール成形      | TIG  | 1.2        | 無し     | 6          | ×         |
|                  | 28 | G  | ロール成形      | TIG  | 0.9        | 無し     | 11         | △         |
|                  | 29 | H  | ロール成形      | TIG  | 0.5        | 750℃   | 14         | ×         |
|                  | 30 | H  | ロール成形      | TIG  | 0.5        | 800℃   | 17         | ×         |
|                  | 31 | H  | ロール成形 (低歪) | TIG  | 0.5        | 無し     | 13         | ×         |

○ : 成形良好、△ : 括れ発生、× : 割れ発生

表 2 に示すように各種溶接管の偏芯拡管性を評価した結果、No. 1～14のように本発明範囲の成分、素材特性を有する高純度フェライト鋼では特開2002-239626号公報等の千鳥配置された孔型ロールのロール間隔が孔型ロール外径の1倍を超えて2倍以下であるように配置することにより、成形過程での曲げ、曲げ戻しによる成形歪を低下させることが可能である。具体的には、ロール外径50mm、ロール間隔52mmの孔型ロール10段を造管方向に千鳥配置し成形した。このような低歪での造管後のサイジング量についても、サイジング率を周長比で1.5%以下にすることにより、円周方向伸びが15%以上確保でき、偏芯拡管部での括れや割れは見られず、十分な偏芯拡管性が得られている。また、No. 15～21のように通常のロール成形による造管材についても、造管、サイジング後に700～850℃で熱処理することにより延性が回復し、円周方向伸びが15%以上となり、偏芯拡管部での括れや割れは見られず、十分な拡管性が得られている。一方、No. 22～28のように低歪造管やサイジング量、熱処理等がなされない場合や熱処理温度が低い場合は、円周方向伸びが15～10%の溶接管では偏芯拡管部に括れの発生が見られ、円周方向伸び10%以下の材料では割れに至っており、自動車等の重要保安部品には使用できないことは明らかである。

一方、No. 29～31の鋼種II (SUS430) を素材とすると、素材伸びとr値が低く、溶接部の特性が劣るため、母材偏芯拡管部や溶接部で割れが発生し、厳しい偏芯拡管用材料としては使用できない。

#### (実施例 2)

表 3 に示す成分の鋼板を用いて、25.4mmφまたは28.6mmφのTIG溶接管、電縫溶接管 (ERW) を、成形条件、造管後矯正量、熱処理温度を変化させ製造した。製造した溶接管を、多段パンチの4工程 (25.4mmφの溶接管は30φ、38φ、45φ、51φ、28.6mmφの溶接管

は38φ、45φ、51φ、58φ)で拡張加工し、全工程での割れ有無により、拡張性を評価した。結果を表4に示す。

〔表3〕

| 鋼種 | C     | Si   | Mn   | Cr   | Mo   | Ti   | Nb          | N     | 特記              |
|----|-------|------|------|------|------|------|-------------|-------|-----------------|
| A  | 0.004 | 0.09 | 0.14 | 17.3 | 1.15 | 0.23 | —           | 0.011 | SUS436L YUS436S |
| B  | 0.005 | 0.08 | 0.12 | 17.4 | 0.51 | 0.22 | —           | 0.012 | YUS432          |
| C  | 0.008 | 0.47 | 0.35 | 11.2 | —    | 0.24 | —           | 0.013 | YUS409D         |
| D  | 0.013 | 0.48 | 0.11 | 19.2 | —    | —    | 0.42        | 0.013 | YUS180          |
| E  | 0.004 | 0.17 | 0.14 | 19.2 | 1.89 | 0.14 | 0.26        | 0.014 | YUS190          |
| F  | 0.006 | 0.10 | 0.12 | 22.3 | 1.62 | 0.18 | 0.30        | 0.011 | YUS220M         |
| G  | 0.009 | 0.96 | 0.95 | 13.9 | 0.47 | 0.15 | 0.30        | 0.009 | YUS450MS        |
| H  | 0.070 | 0.16 | 0.61 | 16.2 | —    | —    | —           | 0.020 | SUS430          |
| I  | 0.016 | 0.45 | 0.12 | 19.3 | —    | —    | <u>0.59</u> | 0.019 | YUS180M         |

〔表 4〕

|                  | No | 鋼種 | 溶接方法 | 直径 (mm) | 板厚 (mm) | 周長矯正量 (%) | 熱処理温度 (℃) | 溶接部と母材の硬度差 $\Delta HV$ | 溶接ビードと母材厚比 $T_F/T_M$ | 拡張性     |
|------------------|----|----|------|---------|---------|-----------|-----------|------------------------|----------------------|---------|
| 本<br>発<br>明<br>例 | 1  | A  | TIG  | 25.4    | 0.8     | 1.5       | 800       | 25                     | 1.15                 | ◎       |
|                  | 2  | A  | TIG  | 25.4    | 1.0     | 0.8       | -         | 20                     | 1.10                 | ◎       |
|                  | 3  | A  | ERW  | 25.4    | 0.8     | 1.0       | -         | 28                     | 1.08                 | ○       |
|                  | 4  | A  | ERW  | 28.6    | 1.0     | 1.5       | 750       | 32                     | 1.08                 | ○       |
|                  | 5  | B  | TIG  | 25.4    | 0.8     | 0.5       | 850       | 11                     | 1.15                 | ○       |
|                  | 6  | B  | TIG  | 25.4    | 1.0     | 1.8       | 800       | 32                     | 1.20                 | ◎       |
|                  | 7  | B  | ERW  | 28.6    | 1.0     | 0.7       | -         | 22                     | 1.10                 | ◎       |
|                  | 8  | C  | TIG  | 25.4    | 0.8     | 0.5       | 700       | 10                     | 1.23                 | ◎       |
|                  | 9  | C  | ERW  | 25.4    | 1.0     | 1.5       | -         | 32                     | 1.18                 | ○       |
|                  | 10 | C  | ERW  | 28.6    | 1.0     | 0.7       | -         | 20                     | 1.10                 | ◎       |
|                  | 11 | D  | TIG  | 25.4    | 0.8     | 1.8       | 800       | 30                     | 1.15                 | ◎       |
|                  | 12 | D  | ERW  | 28.6    | 1.0     | 1.0       | -         | 28                     | 1.08                 | ○       |
|                  | 13 | E  | TIG  | 25.4    | 1.0     | 2.0       | 800       | 33                     | 1.20                 | ○       |
|                  | 14 | E  | ERW  | 28.6    | 1.0     | 0.7       | 800       | 20                     | 1.10                 | ◎       |
|                  | 15 | F  | TIG  | 25.4    | 0.8     | 1.0       | -         | 25                     | 1.11                 | ◎       |
|                  | 16 | F  | ERW  | 28.6    | 0.8     | 1.1       | 800       | 20                     | 1.10                 | ◎       |
|                  | 17 | G  | TIG  | 25.4    | 0.8     | 1.1       | 800       | 20                     | 1.12                 | ◎       |
|                  | 18 | G  | ERW  | 25.4    | 1.0     | 1.0       | 750       | 23                     | 1.08                 | ○       |
| 比<br>較<br>例      | 19 | H  | TIG  | 25.4    | 1.0     | 1.0       | 850       | 45                     | 1.20                 | ××(2工程) |
|                  | 20 | H  | ERW  | 25.4    | 0.8     | 0.5       | 800       | 50                     | 1.15                 | ××(3工程) |
|                  | 21 | I  | TIG  | 25.4    | 1.0     | 0.8       | 800       | 25                     | 1.21                 | ××(3工程) |
|                  | 22 | I  | ERW  | 28.6    | 1.0     | 0.7       | 800       | 25                     | 1.18                 | ××(4工程) |
|                  | 23 | A  | TIG  | 25.4    | 1.0     | 0.2       | -         | 3                      | 1.05                 | ×(2工程)  |
|                  | 24 | B  | ERW  | 28.6    | 1.0     | 0.3       | 800       | 8                      | 1.08                 | ×(3工程)  |
|                  | 25 | C  | TIG  | 25.4    | 0.8     | 0.2       | 800       | 5                      | 1.15                 | ×(2工程)  |
|                  | 26 | D  | TIG  | 28.6    | 0.8     | 0.3       | 800       | 5                      | 1.20                 | ×(3工程)  |
|                  | 27 | E  | TIG  | 25.4    | 1.0     | 0.4       | 800       | 6                      | 1.30                 | ×(3工程)  |
|                  | 28 | F  | ERW  | 28.6    | 1.0     | 0.3       | -         | 8                      | 1.20                 | ×(2工程)  |
|                  | 29 | A  | TIG  | 25.4    | 1.0     | 1.2       | 900       | 4                      | 1.35                 | ×(3工程)  |
|                  | 30 | B  | TIG  | 25.4    | 0.8     | 1.9       | 900       | 4                      | 1.42                 | ×(2工程)  |
|                  | 31 | C  | ERW  | 25.4    | 1.0     | 0.9       | 900       | 8                      | 1.10                 | ×(2工程)  |
|                  | 32 | D  | ERW  | 28.6    | 1.0     | 0.8       | 950       | 7                      | 1.12                 | ×(3工程)  |
|                  | 33 | E  | ERW  | 28.6    | 1.0     | 1.1       | 950       | 5                      | 1.10                 | ×(3工程)  |
|                  | 34 | F  | ERW  | 28.6    | 1.0     | 1.8       | 950       | 5                      | 1.07                 | ×(2工程)  |
|                  | 35 | G  | TIG  | 28.6    | 1.0     | 1.9       | 900       | 6                      | 1.18                 | ×(3工程)  |
|                  | 36 | A  | TIG  | 25.4    | 0.8     | 0.8       | 800       | 20                     | 1.04                 | ×(2工程)  |
|                  | 37 | B  | ERW  | 25.4    | 0.8     | 0.7       | 800       | 18                     | 1.35                 | ××(2工程) |
|                  | 38 | C  | ERW  | 28.6    | 1.0     | 0.8       | 800       | 21                     | 1.38                 | ××(2工程) |
|                  | 39 | D  | TIG  | 25.4    | 1.0     | 1.0       | 800       | 23                     | 1.04                 | ×(3工程)  |
|                  | 40 | E  | TIG  | 28.6    | 0.8     | 0.6       | 800       | 15                     | 1.33                 | ××(3工程) |
|                  | 41 | F  | TIG  | 25.4    | 0.8     | 1.2       | 800       | 25                     | 1.35                 | ××(2工程) |
|                  | 42 | G  | ERW  | 28.6    | 1.0     | 0.7       | 800       | 18                     | 1.03                 | ×(2工程)  |

○：微小割れ（割れ＜3mm）、◎：割れ無し、×：溶接部縦割れ、××：溶接部近傍母材斜め方向割れ  
アンダーライン部：本発明範囲を外れる条件

各鋼種、各製造条件の溶接管の拡管性を評価した結果、本発明範囲内の成分、溶接部ビッカース硬さと母材ビッカース硬さとの硬度差、母材と溶接ビード厚の比のNo. 1～No. 18では、溶接方法、管サイズに寄らず、管端部割れが無いまたは微小であり、問題なく素管の2倍の拡管加工が可能である。

一方、成分が本発明範囲から外れるNo. 19～No. 22では、溶接部硬度が高くなったり、母材部の加工性が劣るため、溶接部近傍から母材斜め方向に割れが発生する。造管後の矯正量や焼鈍条件により、溶接部と母材硬度差 $\Delta HV$ が小さいNo. 23～No. 35では、拡管工程の2または3工程の初期過程で、溶接部縦割れが発生している。

溶接ビードが薄いまたは厚いNo. 36～42では、溶接ビードが厚い場合は溶接部近傍母材に斜め方向の割れが発生し、溶接ビードが薄い場合には、溶接部に縦方向に割れが発生する。

#### 産業上の利用可能性

以上述べたように、本発明は自動車排気系や燃料系部品等の厳しい使用環境に耐え、拡管性に優れ、かつ偏芯拡管加工での母材割れのないフェライト系ステンレス鋼溶接管を提供することが可能となる。

## 請 求 の 範 囲

1. フェライト系ステンレス鋼溶接管に於いて、成形、溶接、矯正後の溶接管母材部の円周方向伸びが15%以上であることを特徴とする拡管加工性に優れるフェライト系ステンレス鋼溶接管。

2. Ti, Nbの1種または2種を、質量%で各々0.05~0.5%含有するフェライト系ステンレス鋼溶接管において、溶接部のビッカース硬さ $HV_V$ と母材部のビッカース硬さ $HV_M$ との硬度差 $\Delta HV (=HV_V - HV_M)$ が10~40の範囲で、溶接部のビード厚さ $T_V$ と母材部の肉厚 $T_M$ との比 $RT (=T_V / T_M)$ が1.05~1.3であることを特徴とする拡管加工性に優れるフェライト系ステンレス鋼溶接管。

3. 質量%にて、C : 0.001~0.015%、Si : 0.01~1.0%、Mn : 0.01~1.0%、P : 0.01~0.03%、S : 0.0005~0.010%、N : 0.001~0.020%、Cr : 11~25%、Mo : 0.01~2.0%、TiまたはNbの1種または2種を各々0.05~0.5%、B : 0.0003~0.0030%を含有し、残部がFe及び不可避不純物からなり、溶接管素材板の円周方向となるべき方向の伸びが30%以上で、平均ランクフォード値(r値)が1.5以上である素材板を用いてなることを特徴とする請求項1または2記載の拡管加工性に優れるフェライト系ステンレス鋼溶接管。

4. 成形、溶接後に周長で0.5~2.0%の矯正を施すことを特徴とする請求項1~3のいずれかの項に記載の溶接管の製造方法。

5. 成形、溶接、矯正後に700~850℃で焼鈍することを特徴とする請求項4記載の溶接管の製造方法。



## 要 約 書

本発明は、素管の2倍以上の拡管加工あるいは偏芯拡管加工での母材部あるいは溶接部近傍に発生する拡管加工割れ、括れの無い、拡管加工性に優れるフェライト系ステンレス鋼溶接管を提供するもので、フェライト系ステンレス鋼溶接管に於いて、溶接管母材部の円周方向伸びが15%以上であることを特徴とするフェライト系ステンレス鋼溶接管。また、Ti、Nbの1種または2種を含有するフェライト系ステンレス鋼溶接管において、溶接部のビッカース硬さ $HV_V$ と母材部のビッカース硬さ $HV_M$ との硬度差 $\Delta HV (=HV_V - HV_M)$ が10~40の範囲で、溶接部のビード厚さ $T_V$ と母材部の肉厚 $T_M$ との比 $RT (=T_V / T_M)$ が1.05~1.3である。また、成形、溶接後に周長で0.5~2.0%の矯正をする。さらに、成形、溶接、矯正後に700~850℃で焼鈍する。このフェライト系ステンレス鋼溶接管は、質量%にて、C:0.001~0.015%、N:0.001~0.020%、Cr:11~25%、Mo:0.01~2.0%、TiまたはNbの1種または2種を0.05~0.5%、B:0.0003~0.0030%を含有し、溶接管素材の円周方向となるべき方向の伸びが30%以上で、平均ランクフォード値が1.5以上であることを特徴とするフェライト系ステンレス鋼溶接管。

Fig.1

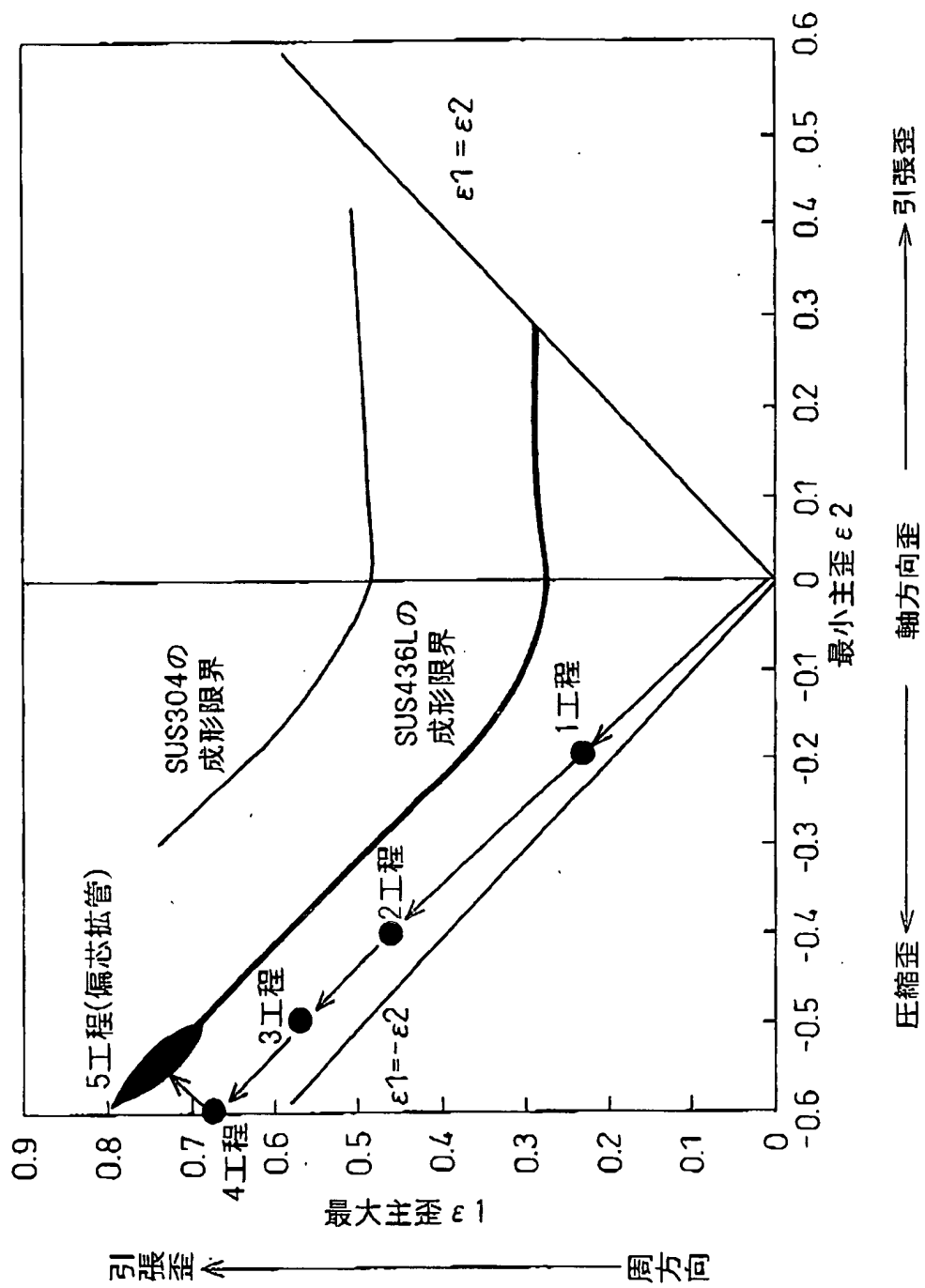


Fig.2

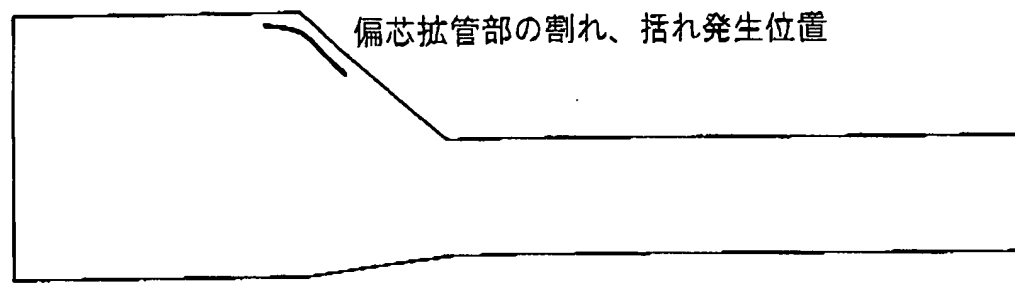


Fig.3

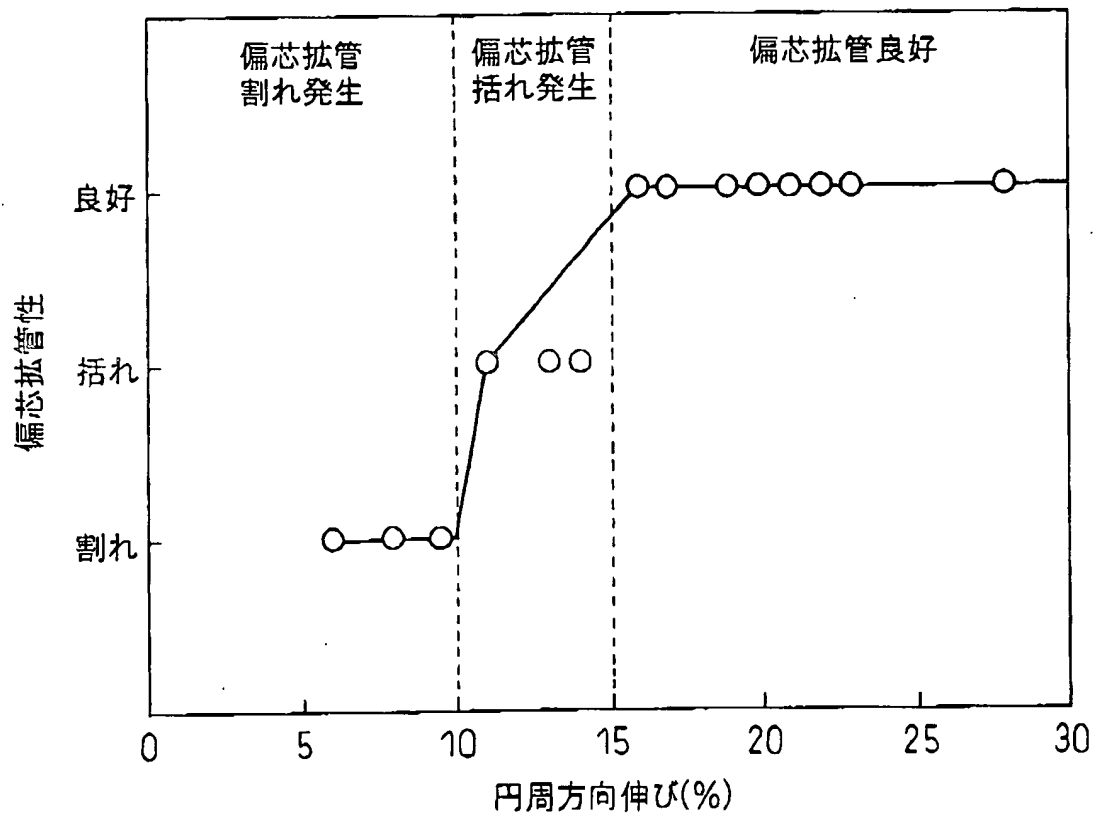
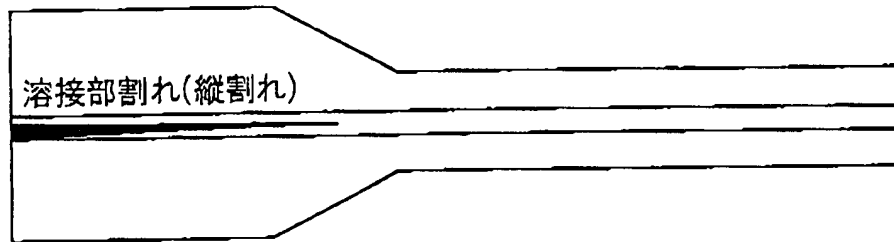


Fig.4

(1) 溶接部強度 < 母材部強度



(2) 溶接部強度 > 母材部強度

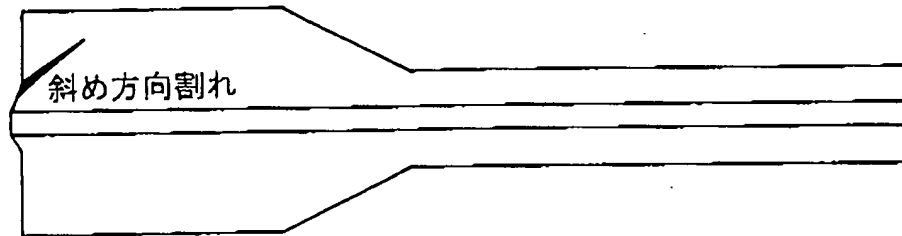


Fig.5

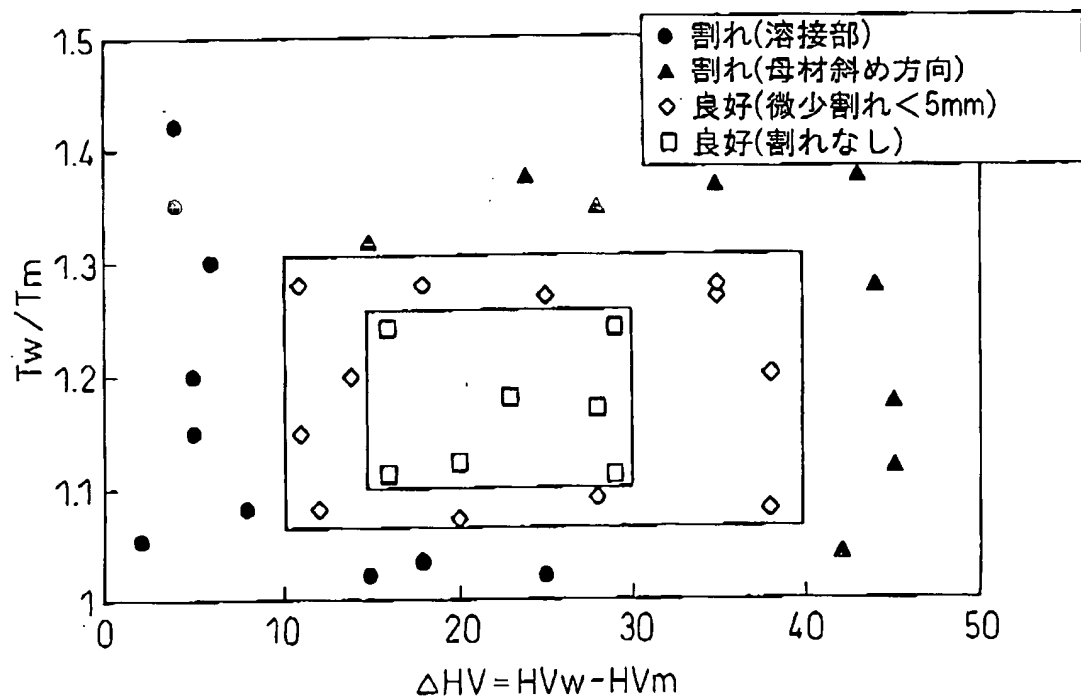


Fig.6

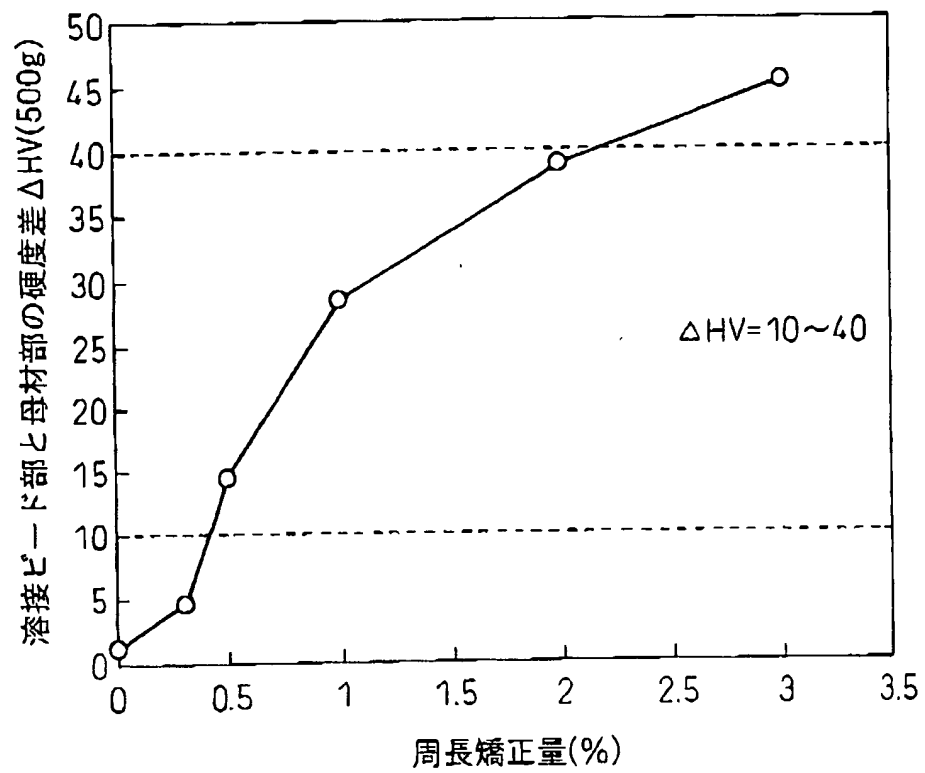


Fig.7

